

ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ ГАЗОПРОВОДНОЙ СИСТЕМЫ В ПРОМЫСЛОВЫХ УСЛОВИЯХ ПОДГОТОВКИ ГАЗА К ТРАНСПОРТУ

А.Н. Гурбанов, Ф.Г. Сейфиев, Э.Ф. Султанов

НИПИ Нефтегаз, Азербайджан, Аз.1012, г. Баку, ул. Зардаби, 88а, тел. (994 12) 4307219,
e-mail: director@socar.az

Представлено результати дослідження рівноваги двох рідинних фаз у системі «поліпропіленгліколь - вода - конденсат - ПАВ». Для розробки високоефективних процесів промислової обробки газу до транспортування досліджено фазову рівновагу в рідинних системах, що містять вуглеводневий конденсат, поліпропіленгліколь, ПАВ і високомінералізовані пластові води.

Фазова рівновага системи «конденсат - поліпропіленгліколь - вода» в умовах промислової обробки газу залежить від кількості рідкої вуглеводневої фази, що виділяється в даних умовах, її групового складу, концентрації поліпропіленгліколю і ПАВ у водній фазі, сольового складу останньої. За результатом досліджень побудовано фазові діаграми стану систем «поліпропіленгліколь - конденсат - водні розчини NaCl» і «поліпропіленгліколь - ПАВ - конденсат».

Ключові слова: фазові системи, рідина, поліпропіленгліколь, конденсат, інгібітор.

Представлены результаты исследования равновесия двух жидкостных фаз в системе «полипропиленгликоль - вода - конденсат - ПАВ».

Для разработки высокоэффективных процессов промышленной обработки газа к транспортировке исследовано фазовое равновесие в жидкостных системах, содержащих углеводородный конденсат, полипропиленгликоль, ПАВ и высокоминерализованные пластовые воды.

Фазовое равновесие системы «конденсат - полипропиленгликоль - вода» в условиях промышленной обработки газа зависит от количества выделяющейся в данных условиях жидкой углеводородной фазы, ее группового состава, концентрации полипропиленгликоля и ПАВ в водной фазе, солевого состава последней. По результатам исследований построены фазовые диаграммы состояния системы «полипропиленгликоль - конденсат - водные растворы NaCl» и «полипропиленгликоль - ПАВ - конденсат».

Ключевые слова: фазовые системы, жидкость, полипропиленгликоль, конденсат, ингибитор

Results of two liquid phase equilibrium study in polypropylene glycol - hydrocarbon condensate - surfactant system are presented.

To develop highly effective processes of gas field treatment and transportation, need of experimental data on phase equilibrium in liquid systems containing hydrocarbon condensate, methanol, surfactant and high salinity formation waters, is evident. Phase equilibrium of hydrocarbon condensate methanol - water in field conditions of gas treatment depends on the quantity of liberated in this conditions liquid hydrocarbon phase, its group composition, methanol and surfactant concentration in water phase and salt composition of the latter.

According to obtained results phase diagrams of polypropylene glycol - condensate - NaCl aqueous solution and polypropylene glycol - surfactant - hydrocarbon condensate system state are constructed.

Keywords: phase systems, liquid, polypropylene glycol, condensate, inhibitor.

Бесперебойная работа сложной газопроводной системы в большой степени зависит от качества газа, поступающего с промыслов. Недостаточная степень очистки и осушки транспортируемого газа – основная причина снижения пропускной способности магистральных газопроводов, увеличения расхода энергии на компримирование и др.

В трубопроводах, проходящих через морские рельефы с резким изменением температуры, образуется жидкая фаза и возникает двухфазное течение, что становится причиной уменьшения пропускной способности трубопроводов и приводит к потерям газа в системе. Исследование фазового состояния транспортируемого газа играет важную роль при предотвращении различных осложнений, возникающих при транспорте и обработке газа.

Качественная обработка продукции газоконденсатных скважин на промысле позволяет извлечь дополнительную продукцию в виде

конденсата, повысит пропускную способность газопроводов и в значительной мере сократит эксплуатационные расходы на транспортировку газа.

Промысловая подготовка газа предусматривает извлечение из газа тяжелых углеводородов, влаги и ингибиторов гидратообразования. Образующиеся в процессе промышленной обработки газа жидкостные системы обычно двухфазные и состоят из углеводородного конденсата, ингибитора гидратообразования, воды и растворенных в ней минеральных солей.

В связи с выносом с продукцией скважин высокоминерализованных пластовых вод возникают проблемы, связанные с солеотложением по всей технологической схеме «добыча – подготовка – транспорт».

При движении по трубопроводу газа, насыщенного тяжелыми углеводородами, вследствие тепловых потерь возникают условия, при которых температура газа в системе становится

Таблиця 1 – Фракційний состав углеводородного конденсата

Фракции (%)	НК	10	20	30	40	50	60	70	80	90	КК
Температура, С ⁰	33	45	55	66	77	91	105	120	141	204	248

d_4^{20} , г/см³ – 0,874

Молекулярная масса – 156

ниже температуры насыщения паров. Это условие определяет появление жидкой фазы в трубопроводе вследствие конденсации газа. Уменьшение давления, определяемое гидравлическими потерями, наоборот способствует испарению жидкой фазы. В результате этого формируются различные структуры движения газожидкостной смеси по длине трубопровода [2].

Кроме того, на газоконденсатных месторождениях для борьбы с технологическими осложнениями (коррозией, солеотложением, парафиноотложением и др.) применяются различные поверхностно-активные вещества (ПАВ). При сборе и транспортировке продукции газоконденсатной смеси происходит смешивание ПАВ с углеводородным конденсатом и полипропиленгликолем (ППГ) и их взаиморастворение. Присутствие ПАВ в системе оказывает значительное влияние на растворимость полипропиленгликоля (ППГ) в газожидкостной системе [2, 3].

Для разработки высокоэффективных процессов промышленной подготовки газа к транспортировке, очевидна необходимость в экспериментальных данных по фазовым равновесиям в жидкостных системах, содержащих углеводородный конденсат, полипропиленгликоль, ПАВ и высокоминерализованные пластовые воды. Поэтому исследование взаимной растворимости в жидких системах представляет большой практический интерес [4].

Экспериментальные данные о фазовом равновесии в жидких системах, имеющих место в газовой промышленности, носят фрагментарный характер, хотя важность и актуальность исследований таких систем не вызывает сомнений.

В основе фазовых равновесий лежит правило фаз Гиббса:

$$\Phi + C = K + X,$$

где: Φ - число фаз;

C - число степеней свободы;

K - число компонентов;

X - число независимых от концентрации параметров.

При изучения равновесия жидкость - жидкость в системах, включающих смесь углеводородов, где число компонентов может исчисляться десятками, применение правила фаз Гиббса не принесло ожидаемых результатов. Поскольку при растворении отсутствуют заметные объемные эффекты, давление на растворимость жидкостей в жидкостях почти не влияет.

Установлено, что изменение растворимости малорастворимых жидкостей, вызванное внешним давлением, очень невелико поэтому в большинстве случаев им можно пренебречь. Характер влияния давления можно определить из принципа Ле-Шателье: если растворение компонентов сопровождается увеличением объема, повышение давления будет способствовать уменьшению растворимости и наоборот.

Авторами исследовано равновесие двух жидких фаз в системе «полипропиленгликоль – вода – углеводородный конденсат». Для экспериментов был использован углеводородный конденсат следующего фракционного состава (табл. 1).

Установлено, что изменение растворимости малорастворимых жидкостей, вызванное внешним давлением, очень невелико и в большинстве случаев им можно пренебречь. Характер влияния давления можно определить из принципа Ле-Шателье: если растворение компонентов сопровождается увеличением объема, повышение давления будет способствовать уменьшению растворимости и наоборот.

Опыты проводили на пробах, отобранных при сепарации. Определяли содержание полипропиленгликоля в стабильном конденсате, газе дегазации, затем в воде.

Методика исследования сырого углеводородного конденсата заключалась в постепенном срабатывании давления в контейнере и пропускании газа дегазации конденсата через систему стеклянных сосудов с дистиллированной водой, подвергаемой в конце опыта соответствующему анализу.

Пробы водометанольных растворов также отбирали под давлением сепарации, а газ дегазации анализировали вышеуказанным методом.

Результаты исследования показаны на рис. 1 и 2.

Характер кривых показывает, что концентрация полипропиленгликоля в водной фазе более 80% вызывает резкое возрастание растворимости полипропиленгликоля в конденсате и конденсата в смеси.

На рис.3 показана диаграмма тройной системы. Бинодальная кривая, полученная методом изотермического титрования, отделяет область гомогенности от области расслаивания.

По мере снижения пластового давления в условиях годового режима эксплуатации месторождения в добываемом газе образуется дефицит влаги; снижение температуры приводит к перенасыщению минерализованных растворов.

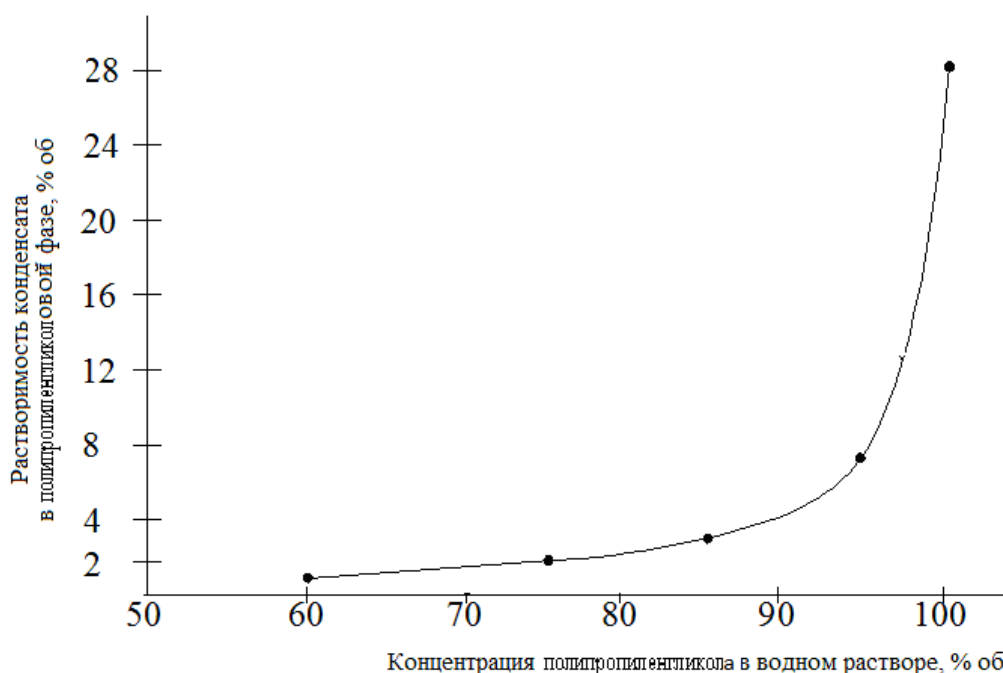


Рисунок 1 – Влияние концентрации полипропиленгликоля в водном растворе на растворимость конденсата в полипропиленгликолевой фазе

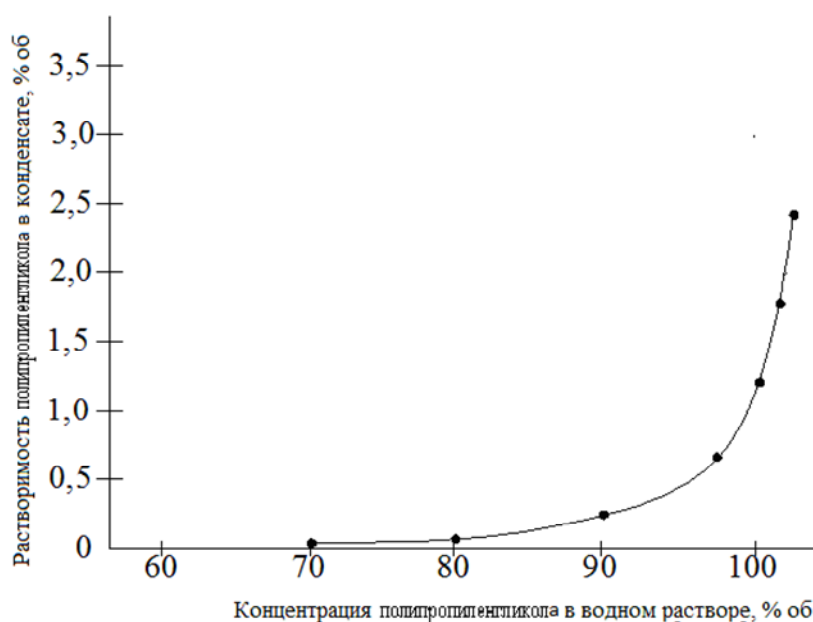


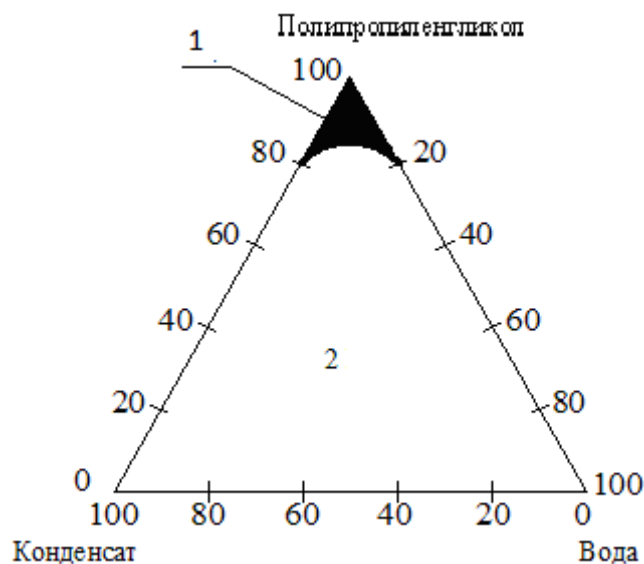
Рисунок 2 – Влияние концентрации полипропиленгликоля в водном растворе на растворимость полипропиленгликоля в конденсате

В лабораторных условиях были изучены растворимость полипропиленгликоля в газовом конденсате в зависимости от его концентрации и содержания минеральных солей в водном растворе. Поскольку хлористые соли натрия, калия являются преобладающими компонентами пластовых вод многих газовых и газоконденсатных месторождений, они были взяты за основу исследований систем, включающих соли.

При исследовании системы «NaCl – вода – метиловый спирт – газовый конденсат» были выявлены фазовые равновесия следующих ти-

пов: «жидкость», «жидкость – жидкость», «жидкость – кристалл», «жидкость – жидкость – кристалл».

Поскольку газовый конденсат и метанол сольвата с NaCl не образуют, кристаллической фазой является чистая соль. Молекулы метилового спирта образуют с молекулами воды более прочные связи, чем со слабо поляризуемыми молекулами солей. Использование полипропиленгликоля в качестве ингибитора гидратообразования приводит к связыванию воды и выделению минеральных солей в виде твердой фазы.



1 – область гомогенности; 2 – область расслаивания

Рисунок 3 – Фазовая диаграмма тройной системы «конденсат – полипропиленгликоль – вода»

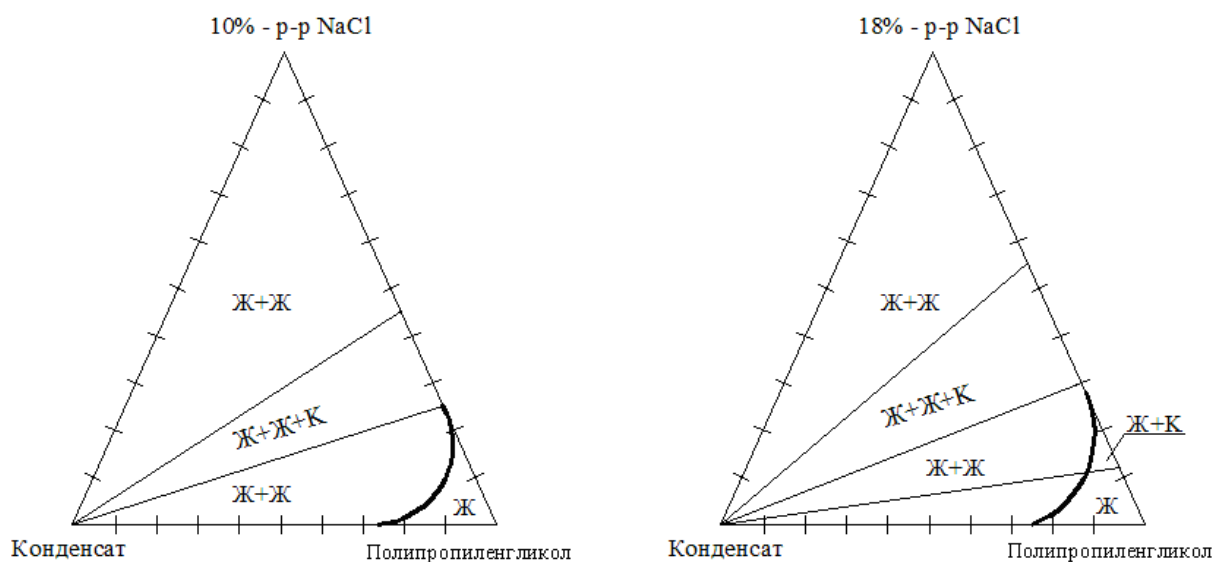


Рисунок 4 - Фазовые диаграммы состояния системы «полипропиленгликоль – конденсат - водные растворы NaCl»

На рисунке 4 приведены фазовые диаграммы состояния системы «полипропиленгликоль – конденсат - водные растворы NaCl».

По результатам проведенных опытов установлено, что присутствие минеральных солей в водной фазе способствует повышению растворимости полипропиленгликоля в углеводородном конденсате в 1,2-1,3 раза.

Опыты по изучению взаимной растворимости трехкомпонентной системы «полипропиленгликоль – конденсат – ПАВ» проводились в лабораторных условиях. В качестве ПАВ использовали ингибитор коррозии марки Алкан-ДЕ ($d_4^{20} = 0,9820 \text{ г/см}^3$, $n_D^{20} = 1,4315$). Гетерогенная система тщательно перемешивалась, термостатировалась, отстаивалась, затем фазы разделялись и анализировались по аналитическому методу.

В таблицах 1 и 2 приведены результаты опытов, а на рисунке 5 дана треугольная диаграмма изотермы растворимости системы «полипропиленгликоль – ПАВ – углеводородный конденсат». Фазовая диаграмма построена на основе опытных данных указанной системы при температуре 20°C.

Несколько точек бинодальной кривой получены путем титрования. Эти точки соответствуют составом следующих гомогенных смесей.

Диаграмма имеет две области: гетерогенная, которая состоит из фаз растворов «абсорбент - ПАВ - углеводородный конденсат» и гомогенную.

Кривая растворимости «аб» показывает изменение концентрации растворов при различных содержаниях компонентов. По на-

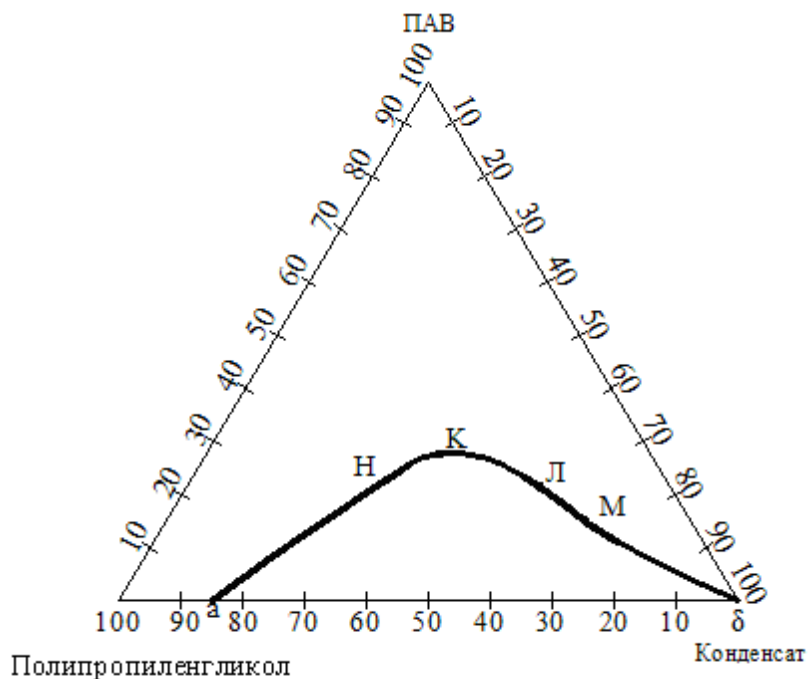


Рисунок 5 - Фазовая диаграмма растворимости системы «полипропиленгликоль – ПАВ - углеводородный конденсат»

Таблица 1 – Состав гомогенных смесей

Точки	ПАВ, % об	Полипропиленгликоль, % об	Конденсат, % об.
И	25,0	43,0	38,0
К	30,0	29,0	46,0
Л	26,0	22,0	57,0
М	23,0	20,0	61,0

Таблица 2 – Состав фаз

№ опыта	Исходная смесь, % об			ППГ фаза, % об			Конденсатная фаза, % об		
	ПАВ	ППГ	Конденсат	ПАВ	ППГ	Конденсат	ПАВ	ППГ	Конденсат
1	21	24	55	27	39	34	12	6	82
2	17	40	43	20	50	30	14	12	74
3	14	36	50	17	52	31	8,5	4,8	86,7
4	13,8	42	44,2	16	54	30	15	7,1	77,9
5	10	65	25	13	72	15	16,5	11,7	71,8
6	6,5	65,5	28	7,0	80	13	4,7	3,1	92,2
7	4,0	20	76	5	75	20	3,0	3,5	93,5
8	2,0	8,0	80	4	78	18	2,0	2,5	95,5

правленню кривой видно, что с увеличением концентрации компонентов в растворителе их растворимость возрастает.

Данные по фазовым равновесиям в жидкостной системе «углеводородный конденсат – полипропиленгликоль – пластовая вода» могут быть использованы при решении вопросов по снижению потерь полипропиленгликоля и предотвращению солеотложения в процессе эксплуатации газоконденсатных месторождений, а

также для расчетов количества полипропиленгликоля, необходимого для предупреждения гидратообразования.

ВЫВОДЫ

Данные по фазовым равновесиям в жидкостной системе «углеводородный конденсат – полипропиленгликоль - пластовая вода» могут быть использованы:

- при решении вопросов по снижению потерь полипропиленгликоля, ингибиторов и абсорбентов.

- на трубопроводах при транспортировке природного газа для решения вопросов предотвращения солеотложения, снижения потерь полипропиленгликоля.

Определение количества газа, прешедшего в результате фазовых превращений в жидкость, - для решения вопросов предотвращения гидратообразования.

Литература

1 Мурин В.И. Технология переработки природного газа и конденсата / В.И.Мурин, Н.Н. Кисленко. – М.: Недра, 2002. – 517 с.

2 Алекперов Ю.З. Графический способ определения растворимости метанола в системе природный газ – углеводородный конденсат пластовая вода в условиях промысловой обработки газа / Ю.З. Алекперов // Нефтяное дело. – 2010. – №8. – С. 45-49.

3 Гурбанов А.Н. Фазовое состояние при подготовке природного газа к транспорту / А.Н. Гурбанов // АНХ. – 2007. – №3. – С. 54-57.

4 Бухгалтер Э.Б. Метанол и его использование в газовой промышленности / Э.Б. Бухгалтер. – М.: Недра, 1986. – 238 с.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
16.06.11*

*Рекомендована до друку професором
Р.М. Кондратом*